Algoritmo de Proteção Residual de Neutro Aplicada em alimentadores de Distribuição

Valdinei Siviero	Valdir Francisco da Silva	Anizio Quedmar de Souza
Cemig Distribuição S.A.	Cemig Distribuição S.A.	Cemig Distribuição S.A.
valdinei@cemig.com.br	valdirfco@cemig.com.br	anizio@cemig.com.br

Palavras-chave

Alimentador
Automatismo
Neutro
Proteção
Supervisório

Abreviações e siglas

IN: Somatório vetorial da corrente de desequilíbrio do neutro.
LAF-PE: Função de Automação Local – Aplicativo instalado em UTR/CLP com a função de proteção residual de neutro.
PE: Sensor/Circuito eletrônico com a função de proteção do neutro.
UTR: Unidade terminal remota.
CLP: Controlador lógico programável.
Function Block: Linguagem de programação utilizando blocos lógicos.
Ladder: Linguagem de programação utilizando diagrama de contatos.
Algoritmo: Seqüência não ambígua de instruções, executada até que determinada condição se verifique, atendendo a um objetivo pré-definido.
DEC: Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.
FEC: Freqüência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.

Resumo

O Automatismo LAF-PE foi desenvolvido atendendo aos inúmeros desligamentos indevidos ocasionados pelo baixo desempenho da proteção eletrônica dos alimentadores, impactando diretamente nos índices DEC e FEC. Idealizado como proteção de neutro principal, permanecendo a proteção eletrônica como proteção de retaguarda.
Flexibilidade operacional devido à parametrização on-line no algorítmo de proteção de neutro, através do centro de operação via sistema supervisório, antes da implementação deste algoritmo, estes ajustes somente poderiam ser realizados na proteção eletrônica instalada dentro do tanque do alimentador, envolvendo as equipes de operação e manutenção, ocasionando deslocamentos e indisponibilidade operacional do alimentador para o sistema durante a intervenção, a parametrização on-line proporcionou drástica redução dos custos, otimizando as equipes de manutenção.
Reduzimos os custos na ordem de R$ 3800,00/ano por alimentador, referente à manutenção corretiva que deixou de ser realizada em função da implementação do automatismo, informação baseada no histórico de falhas apresentado pela proteção eletrônica no período 2004 - 2009, considerando 20 alimentadores já instalados, totalizando uma economia de R$ 76000,00/ano, considerando a previsão de instalação para 96 alimentadores, a economia total prevista será de R$ 364800,00/ano.
Baixo custo de implementação, R$ 2500,00 por alimentador, resumindo basicamente na aquisição de transdutor de corrente e mão de obra.

1. Introdução

Com o advento da automatização de subestações, surgiu à possibilidade de se automatizar processos ou rotinas operacionais, possibilitou desenvolver algorítmos para as mais variadas finalidades, como o LAF-PE.
Estes aplicativos são instalados e executados nas UTR’s, CLP’s ou qualquer equipamento de aquisição de dados dotado de recursos de programação e comunicação externa.
Geralmente estes algorítmos são desenvolvidos utilizando linguagem de baixo nível oferecido pelos fabricantes dos controladores (Ex.: Function Block, Ladder, Linguagem Descritiva entre outras).
Excelente custo benefício, confiabilidade, praticidade, manutenção reduzida, parametrização ON-LINE interagindo com o sistema supervisório.

2. Desenvolvimento

O aplicativo LAF-PE foi elaborado com o propósito de suprir as deficiências apresentadas pela PE dos alimentadores, sendo as principais:

- Falhas de atuação causando a operação do segundo relé de Neutro, provocando interrupção aos consumidores conectados na barra geral;
- Alto índice de manutenções corretivas, comprometendo o orçamento da manutenção;
- Comprometimento dos índices de DEC e FEC estabelecidos pela ANEEL;
- Operações indevidas sem causa aparente com TRIP permanente.

Na imagem 1 temos um circuito eletrônico PE, instalado na tampa superior de um Religador tipo R, podemos observar que este circuito permanece em condições normais de operação, submerso em óleo isolante acelerando o processo de deteriorização dos componentes eletrônicos, conseqüentemente reduzindo a vida útil desta proteção.
Com a disponibilidade de utilização dos recursos de programação oferecidos pelas UTR’s/CLP’s das subestações automatizadas, iniciamos o projeto LAF-PE em novembro/2003, elaborando inicialmente o fluxograma operacional da proteção residual de neutro conforme podemos observar na imagem 2 procuramos manter todas as funcionalidades da PE original acrescentando outras ferramentas para monitoração e parametrização em tempo real, via sistema supervisório.
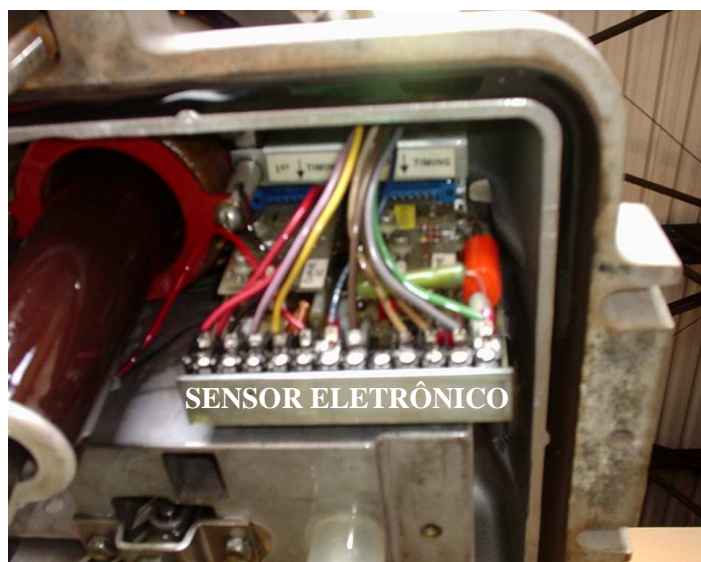
Imagem 1

Idealizamos o automatismo LAF-PE como sendo a proteção de neutro principal e o circuito eletrônico PE como proteção de retaguarda, desta forma o automatismo permitirá dois modos de operação, modo atuação e modo supervisão, no modo atuação estará exercendo a função de proteção principal de neutro, já no modo supervisão estará na condição de monitoramento da proteção de neutro se está estiver em serviço, reportando ao centro de operação o desempenho da PE do alimentador, alarmando diante de certas condições insatisfatórios conforme fluxograma do algoritmo da proteção residual de neutro da imagem 2.

2.1 ***Fluxograma operacional da proteção residual de neutro LAF-PE***

Como podemos observar pela análise do fluxograma abaixo, o aplicativo é disparado sempre quando a corrente de desequilíbrio ultrapassar o valor pré-ajustado de IN(40 ~ 100A), quando IN for superior ao valor Set-Point , verifica-se o estado do LAF-PE "modo atuação" ou "modo supervisão", na condição atuação, significa que a proteção de retaguarda PE está na condição fora de serviço, já na condição supervisão, verifica-se a PE em serviço exercendo a função principal de proteção de neutro, sendo monitorada pelo algoritmo LAF-PE.

Constatado LAF-PE no modo atuação verifica-se na seqüência qual a curva de operação selecionada, "Mista ou Lenta", caso esteja selecionado curva mista, significa dizer que a primeira abertura ocorrerá na curva rápida e a segunda abertura na curva lenta, considerando que a curva "Mista" esteja selecionada e trata-se da primeira abertura do alimentador, aguarda-se o tempo ajustado para a curva rápida(0,5 ~2seg's) e verifica se o alimentador encontra-se na condição aberto, caso afirmativo será gerado o alarme "TRIP PELA LAF-PE SATISFATÓRIO", permanecendo o alimentador fechado, inicia-se uma nova temporização de 2 seg's para certificar que não houve um retardo no comando de TRIP do alimentador, após esta temporização, verifica-se novamente o alimentador na condição aberto, caso afirmativo considera-se que o TRIP no alimentador foi satisfatório e será gerado o alarme "TRIP PELA LAF-PE SATISFATÓRIO", caso o alimentador ainda permaneça na condição fechado, ocorrerá à comutação automática do aplicativo LAF-PE para o modo supervisão, colocando em serviço a PE do alimentador, gerando o alarme "FALHA TRIP PELA LAF-PE", retornando para o modo atuação automaticamente após ciclo de fechamento do alimentador, exceto na condição intencional de se manter o LAF-PE no modo supervisão.

Considerando a segunda abertura do alimentador na curva "MISTA" ou se a curva selecionada for à curva "LENTA", pois na curva lenta as duas aberturas do alimentador ocorrerão obrigatoriamente com a temporização lenta (8 ~12seg's), aguarda-se o tempo ajustado para curva lenta e verifica-se o alimentador na condição aberto, caso afirmativo será gerado o alarme "TRIP PELA LAF-PE

SATISFATÓRIO” caso contrário inicia-se uma nova temporização de 2seg’s conforme já descrito e verifica-se novamente o estado do alimentador, se estiver aberto será gerado o alarme “TRIP PELA LAF-PE SATISFATÓRIO”, caso contrário ocorrerá à comutação automática do aplicativo LAF-PE para o modo supervisão, colocando em serviço a PE do alimentador, gerando o alarme “FALHA TRIP PELA LAF-PE”.

Com o algoritmo LAF-PE na condição supervisão, tanto na condição inicial ou pela comutação automática devida falha no TRIP pela LAF-PE, verifica-se na seqüência se o PE está em serviço, caso afirmativo aguarda a temporização de operação da PE e verifica o alimentador na condição aberto, confirmado será gerado o alarme “TRIP SATISFATÓRIO PELA PE”, concluída temporização da operação da PE, verifica-se o estado do alimentador, permanecendo na condição fechado, será gerado o alarme: “FALHA TRIP PELA PE”.

Se as duas proteções de neutro LAF-PE e PE estiverem simultaneamente na condição fora de serviço, será gerado o alarme “OPEROU LAF-PE MODO SUPERVISÃO”, indicando que se uma das proteções de neutro estivesse em serviço, ocorreria o TRIP no alimentador.
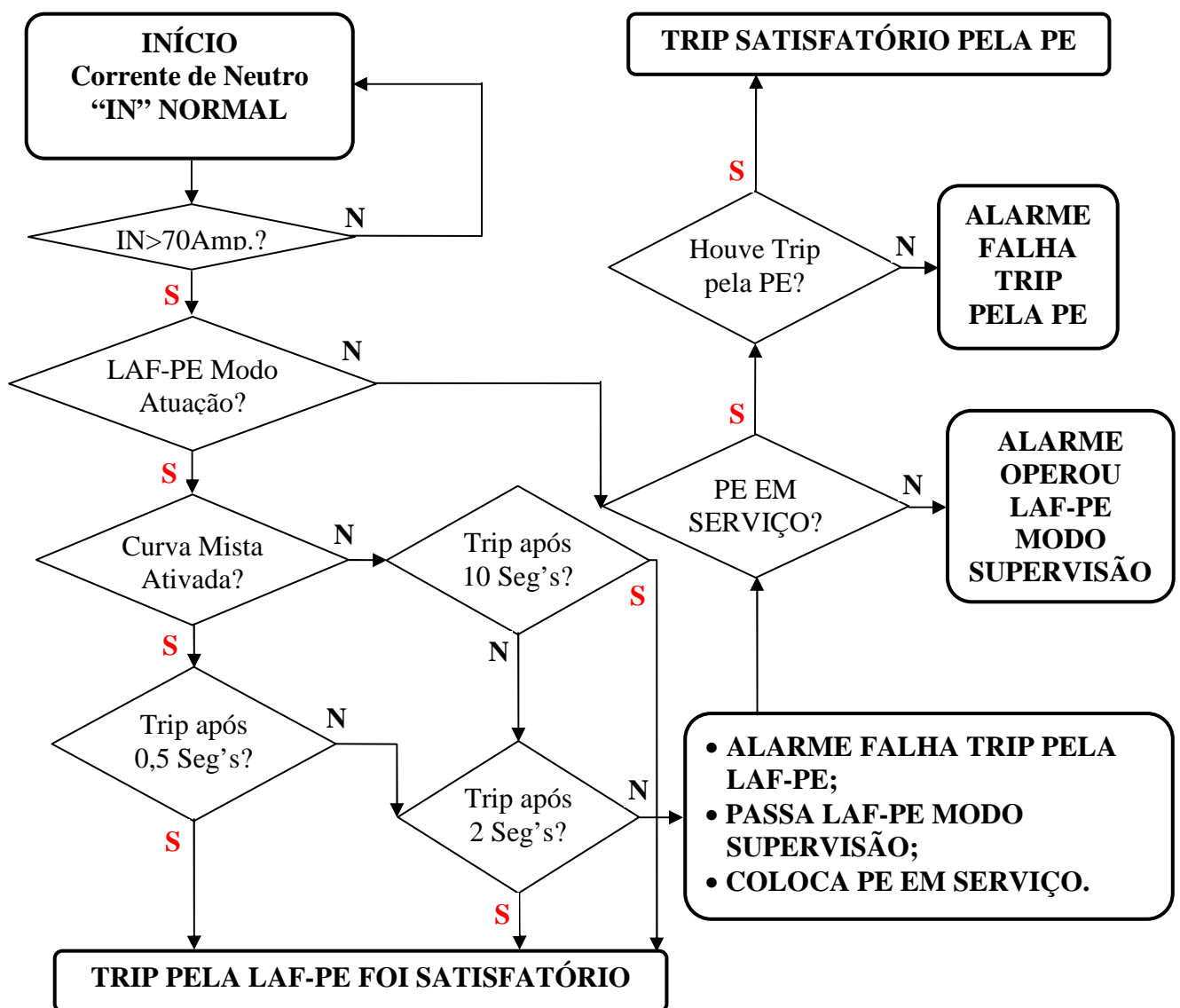
Imagem 2

2.2 *Esquema de Ligação do Transdutor de Corrente do Neutro*

O transdutor de corrente será utilizado para fazer a conversão de um sinal analógico de corrente alternado na faixa entre 0 ~ 5Amp. em outro sinal analógico contínuo Ex.: 0 ~1 mAcc ou de 4 ~20

mAcc, a definição sobre qual será as características do sinal convertido, está diretamente relacionado com a especificação das entradas analógicas da UTR ou CLP utilizado.
Utilizaremos um transdutor de corrente para coletar a amostra da corrente de desequilíbrio no neutro, amostra esta que será utilizada pelo aplicativo LAF-PE, na imagem 3 temos um exemplo de instalação deste transdutor de corrente no fechamento estrela do circuito de TC’s, amostrando diretamente a somatória vetorial de desequilíbrio no neutro.
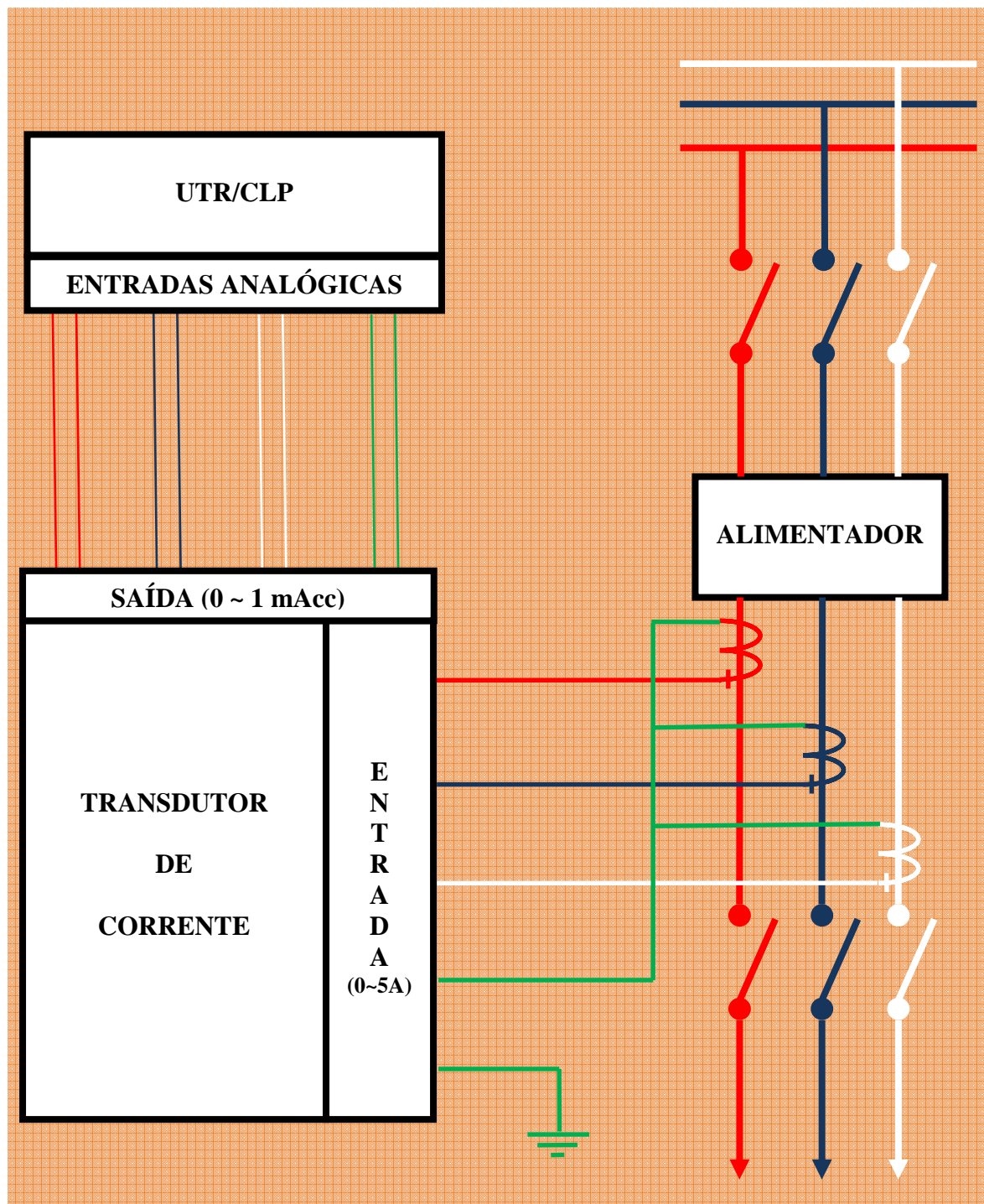
Imagem 3

Várias combinações de instalação de transdutores são possíveis, um único transdutor que forneça às três correntes de fase mais a corrente de neutro, um transdutor trifásico para as correntes de fase e um transdutor monofásico para a corrente de neutro, o que é imprescindível e que tenhamos um TC por fase na configuração estrela aterrada, e um transdutor de corrente instalado no fechamento estrela.

Considerando que os ajustes da corrente de operação para a proteção de neutro são de baixo valor se comparado com a relação de TC. (Ex.: IN = 70A e RTC = 600, no enrolamento primário), temos que ter uma atenção especial sobre a escolha do parâmetro banda morta da IN a ser utilizado, um valor muito pequeno, pode ocupar demasiadamente a capacidade de processamento do CPU do controlador e um valor muito grande, reduzirá a sensibilidade da proteção eletrônica, no exemplo citado, utilizamos uma banda morta de 0,25%, ou seja, será necessária uma variação de 1,5Amp no primário, para que ocorra uma atualização do sinal amostrado. E desejável que o transdutor de corrente possua uma precisão igual ou maior que a banda morta escolhida.

2.3 *Interface entre o Aplicativo LAF-PE e o Sistema Supervisório*

Para possibilitar a interação entre o aplicativo de proteção de neutro LAF-PE e o centro de supervisão e controle, foram realizadas alterações em telas já existentes, e desenvolvida tela específica no sistema supervisório. Na imagem 4 temos a tela do vão do alimentador 202F4R, nesta tela foi inserida a informação da corrente de desequilíbrio residual no neutro, indicada na imagem 4 dentro do quadro em vermelho, antes da implementação do LAF-PE, tínhamos apenas a indicação trifásica de corrente, esta indicação de corrente de neutro proporcionou uma melhoria significatica no controle operacional deste circuito.
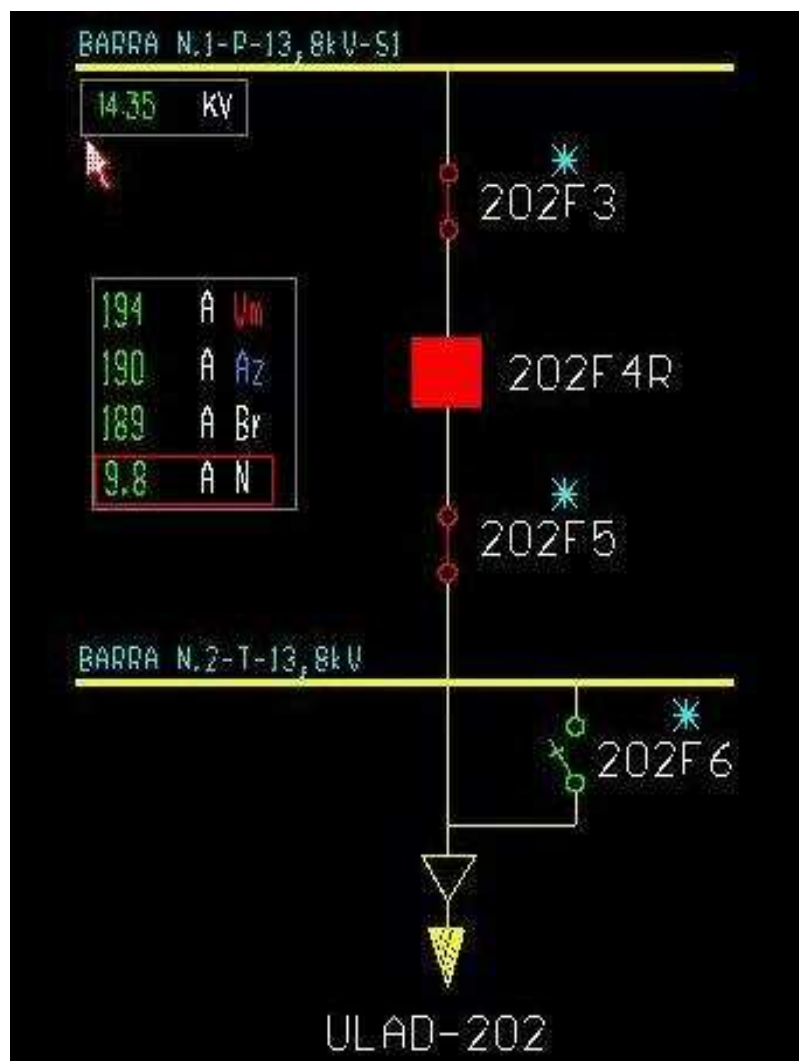
Imagem 4

Ainda na tela do Vão do alimentador, foi introduzida a informação que o circuito ULAD-202 possui o automatismo para proteção residual de neutro LAF-PE, conforme indicado no quadro vermelho da imagem 5.

Dentro do quadro de indicações da imagem 5, temos indicado também por um quadro em vermelho, a indicação da proteção de terra, sem mencionar qual das duas opções de proteção de terra, está efetivamente em serviço, visto que ambas não podem permanecer nesta condição simultaneamente, através de uma lógica binária, a condição em serviço irá ocorrer quando qualquer uma das proteções de neutro, LAF-PE ou PE estiverem na condição em serviço, consequentemente teremos a indicação "FORA DE SERVIÇO", quando as duas proteções de neutro, principal LAF-PE e retaguarda PE estiverem simultaneamente na condição fora de serviço, portanto para saber qual das proteções de neutro está operando como principal, temos obrigatoriamente que acessar a tela da imagem 6.

Imagem 5

Na imagem 6, temos a tela que foi especificamente desenvolvida para este algoritmo, permitindo em uma única tela, obter todo o controle sobre o automatismo de proteção de neutro, estes controles são:

PE LAF: Indicação do estado operacional do automatismo LAF-PE, a indicação "EM SERVIÇO", significa dizer que o automatismo está no modo atuação, conforme já descrito no item 2.1 e conseqüentemente a indicação "FORA DE SERVIÇO" significa dizer que o automatismo está na condição supervisão, temos ainda a possibilidade de comando de escolha entre colocar o LAF-PE na condição em serviço ou fora de serviço, através do botão de comando CMD.

PE RELIGADOR: Indica o estado operacional da proteção eletrônica do alimentador, a indicação "EM SERVIÇO", significa dizer que a PE está como proteção principal do neutro, e conseqüentemente a indicação "FORA DE SERVIÇO" significa dizer que o PE está desabilitado, temos ainda a possibilidade de comando de escolha entre colocar o PE na condição em serviço ou fora de serviço, através do botão de comando CMD, a cor verde na indica condição permanente e a cor vermelha indica condição provisória.

Importante mencionar que em nenhuma situação, tanto o PE como o LAF-PE, poderá permanecer simultaneamente na condição em serviço, este impedimento e realizado através da lógica do aplicativo, quando ocorre o comando para colocar em serviço o LAF-PE já estando o PE em serviço, automaticamente o PE é colocado na condição fora de serviço e na sequência e colocado o LAF-PE em serviço, e na condição contrária, para efetivarmos o comando para colocar o PE em serviço já estando o LAF-PE em serviço, este comando somente será efetivado se primeiro for efetuado o comando para colocar o LAF-PE na condição fora de serviço. Tanto o LAF-PE como o PE, poderá permanecer na condição fora de serviço por conveniência operativa devido à manobra de transferência de carga entre alimentadores.

TRANSDUTOR IN: A indicação "NORMAL" significa dizer que a IN está dentro de parâmetros pré-definidos que habilitam a amostra do transdutor para operação, quando a indicação de IN fornecido pelo transdutor está fora destes limites, ocorre à indicação de "FALHA", nesta situação será comutado automaticamente de LAF-PE para PE, caso o LAF-PE esteja previamente na condição em serviço e que o último comando que mantenha a PE na condição fora de serviço não tenha sido intencional pelo centro de controle, a lógica do aplicativo que executa esta validação da amostra, recebe a denominação Watchdog Transdutor IN.

CORRENTE DE NEUTRO: Nesta célula temos a indicação ON-LINE da corrente residual de desequilíbrio no neutro.

ÚLTIMA IN TRIP: Registra a última corrente de neutro que efetivamente causou o TRIP no alimentador, este valor e renovado a cada operação.

CURVA DE OPERAÇÃO: Indica a curva de operação escolhida "MISTA" ou "LENTA" conforme já descrito no item 2.1 através do boton de comando CMD, é possível optar entre curva lenta ou mista.

TEMPO CURVA RÁPIDA: Indicação do tempo escolhido, para operação da primeira abertura do alimentador na configuração de curva mista, permite comando de ajuste de tempo ON-LINE dentro da faixa estipulada entre 0,5 e 2seg's, ajuste default de 0,5seg's.

TEMPO CURVA LENTA: Indicação do tempo escolhido, para operação da segunda abertura do alimentador na configuração de curva mista, e principalmente para operação na curva lenta, permite comando de ajuste de tempo ON-LINE dentro da faixa estipulada entre 8 e 12seg's, ajuste default de 10seg's.

CONTADOR DE OP. PE: Indica apenas a contagem de aberturas do alimentador que foram efetivadas para proteção de terra LAF-PE ou PE, possibilita setar o contador de operações dentro da faixa de 0 até 2000 operações através do boton de comando CMD.

CORRENTE DE OP. PE: Indica a corrente ajustada para promover o TRIP no alimentador através do automatismo LAF-PE, permite alterar a corrente de operação ON-LINE dentro da faixa estipulada entre 40 e 100A, ajuste default de 70A.

	FAIXAS	202F		9F	
PE LAF		EM SERVICO	CMD	EM SERVICO	CMD
PE RELIGADOR		FORA DE SERVICO	CMD	FORA DE SERVICO	CMD
TRANSDUTOR IN		NORMAL		NORMAL	
CORRENTE DE NEUTRO	(A)	9.80		16.50	
ULTIMA IN TRIP	(A)	0.00		125.70	
CURVA DE OPERACAO		LENTA	CMD	MISTA	CMD
TEMPO CURVA RAPIDA	0,5 a 2(s)	0.5	CMD	0.5	CMD
TEMPO CURVA LENTA	08 a 12(s)	10.0	CMD	10.0	CMD
CONTADOR OP. PE	0 - 2000	13	CMD	11	CMD
CORRENTE OP. PE	40 - 100(A)	70	CMD	70	CMD

Imagem 6

3. Conclusões

O primeiro automatismo LAF-PE entrou em operação em novembro de 2004, a partir desta data temos contabilizado uma série de vantagens, das quais se destacam:

- Redução dos índices de DEC e FEC dos alimentadores, esta redução ocorreu principalmente em função da melhoria do desempenho da proteção de terra oferecida pelo automatismo, evitando-se desligamentos indevidos, falhas de atuação provocando a operação do segundo relé de neutro, causando interrupção no fornecimento de energia a todos os consumidores do mesmo barramento;
- Ganhos financeiros na ordem de R$ 3800,00/ANO por alimentador, devidos basicamente à manutenção corretiva que deixou de ser realizado, baseado no histórico de manutenção específica para reparos na PE, este valor poderão chegar a R$364800,00/ANO quando todos os alimentadores que possuem PE recebam o automatismo LAF-PE, valor considerado apenas para a regional de distribuição triângulo;
- Otimização dos recursos de mão de obra da manutenção, disponibilizando para outras atividades, evitando concentração de recursos humanos em uma atividade específica;
- Flexibilidade operacional com a possibilidade da parametrização ON-LINE, alterando os ajustes em tempo real através dos comandos disponibilizados nas telas do sistema supervisório, evitando-se envolver equipes de operação e manutenção para promover tais ajustes, sem a necessidade de deixar o equipamento indisponível ao sistema durante esta tarefa, esta condição proporcional uma enorme redução nos custos da manutenção que não foram mensurados e, portanto não foram incluídos no ganho financeiro mencionado;
- Facilidade de implementação do automatismo com baixo custo, considerando que o alimentador já possua um TC para cada fase e o circuito esteja completo até a chave de aferição instalada na sala de controle da subestação, considerando também que a UTR/CLP possui entrada analógica disponível, nesta condição a previsão de gasto está na ordem de R$2500,00 por alimentador que consiste na aquisição de um transdutor de corrente e mão de obra para desenvolver e instalar o automatismo na UTR/CLP e também para realizar a configuração do sistema supervisório.

Diante das inúmeras vantagens obtidas com a implantação deste automatismo, após passar por testes de laboratório e um longo período de testes de campo realizando as devidas correção e atualizações, este aplicativo se consolidou como uma importante ferramenta para suprir as deficiências da proteção original dos alimentadores com PE, podendo ser utilizado em qualquer circuito onde se deseja proteger contra desequilíbrio.

4. Referências bibliográficas e/ou bibliografia

Nenhuma.